Ein Intensitäten registrierendes Mikrophotometer und die Registrierung des ultravioletten Sonnenspektrums

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
der mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät
der Georg August-Universität zu Göttingen

Vorgelegt von
Günter Brückner
aus Dresden

Göttingen 1960

D 7

Referent: Prof. Dr. P. ten Bruggencate

Korreferent: Prof. Dr. R. Hilsch

Tag der mündlichen Prüfung: 25. November 1960

Sonderdruck aus
„Zeitschrift für Astrophysik"
Bd. 51, 1961

Sonderdruck
aus der „Zeitschrift für Astrophysik", 51. Band, 3. Heft, 1961
Springer-Verlag/Berlin · Göttingen · Heidelberg

VERÖFFENTLICHUNGEN
DER
UNIVERSITÄTS-STERNWARTE ZU GÖTTINGEN
Nr. 129

Ein Intensitäten registrierendes Mikrophotometer und die Registrierung des ultravioletten Sonnenspektrums

Von
GÜNTER BRÜCKNER

Mit 4 Textabbildungen

(Eingegangen am 13. Oktober 1960)

Göttingen 1961

6211/61

Zeitschrift für Astrophysik 51, 187—200 (1961)

Veröffentlichungen der Universitätssternwarte zu Göttingen
Nr. 129

Ein Intensitäten registrierendes Mikrophotometer und die Registrierung des ultravioletten Sonnenspektrums

Von

Günter Brückner

Mit 4 Textabbildungen

(Eingegangen am 13. Oktober 1960)

A microphotometer for scanning photographic plates is described. The photometer transforms automatically photographic densities into intensities. For this purpose the calibration curve is stored electrically in the photometer. The density of the photographic plate is measured in the usual way by a multiplier and is registered by a compensating recorder. The potential drop at the measuring resistor of the recorder is distorted by twenty potentiometers, wired parallel to the resistor in such a way, that the calibration curve is approximated by a polygon.

The photometer has been used to register exposures of the ultraviolet solar spectrum (2988 A $\leqq \lambda \leqq$ 3600 A), taken at the solar telescope with a concave grating spectrograph.

A. Ein Intensitäten registrierendes Mikrophotometer

1. Planung des Gerätes

In der photographischen Photometrie ist es im allgemeinen unumgänglich, für jede verwendete Platte oder für jeden verwendeten Film, in seltenen Fällen für eine Gruppe gleichbehandelter Platten mit derselben Emulsion, eine gesonderte Eichkurve (E. K.), nämlich die Beziehung zwischen Schwärzung S und wirkender Intensität I, $S = f(I)$ herzustellen. Der Vorgang, eine Schwärzungsregistrierung über die E. K. in die zugehörige Intensitätsverteilung zu transformieren, ist selbst mit entsprechenden Hilfsgeräten langwierig. Es liegt nahe, diesen Vorgang so zu automatisieren, daß das Photometer unmittelbar Intensitäten aufzeichnet. Diese Aufgabe läßt sich im Prinzip auf zweierlei Weise lösen:

a) Man vergleicht unmittelbar und automatisch die Aufnahme des zu registrierenden Spektrums mit einer gesondert gewonnenen Aufnahme der Intensitätsskala in einem Vergleichsphotometer.

b) Die Aufnahme der Intensitätsskala wird zunächst registriert, und die E. K. in elektrischer oder mechanischer Form gespeichert. Die Um-

wandlung von Schwärzungswerten in Intensitäten erfolgt dann während des Registriervorganges in diesem „Funktionenspeicher".

Dabei ist ferner zu überlegen, ob die Wellenlängenabhängigkeit der E.K. mit berücksichtigt werden muß, d. h. ob größere Spektralbereiche in einem Vorgang registriert werden sollen oder jeweils nur kleinere Bereiche, innerhalb derer die E.K. als konstant anzusehen ist. Bei dem im folgenden beschriebenen Registrierphotometer sollte nur die letzte Bedingung erfüllt sein.

Die bisher in Gruppe a vorhandenen Photometer von R. C. WILLIAMS und W. A. HILTNER (1943) sowie von D. E. BILLINGS, R. A. COOPER, J. W. EVANS und R. H. LEE (1954) sowie H. W. BABCOCK berücksichtigen die Wellenlängenabhängigkeit der E.K. Diesem Vorteil stehen die weiter unten erörterten Nachteile unmittelbar vergleichender Photometer entgegen.

Zahlreicher sind die Konstruktionen in Gruppe b. Hier ist das Photometer von M. MINNAERT und J. HOUTGAST (1938), mit dem der Utrechter Sonnenatlas hergestellt wurde, sowie das Photometer von J. RICHTER (1959) zu erwähnen, deren gemeinsames Kontruktionsprinzip die Nachbildung der E.K. mittels einer optischen Methode ist. Der von der Registrierzelle kommende Strom wird einem Hilfsgalvanometer zugeführt, dessen Spiegel das Bild eines Spaltes S in einer Ebene bewegt, in der sich eine Blende befindet, deren Begrenzung die Form einer Schwärzungskurve hat. Der so der zu registrierenden Intensität proportional gemachte Lichtstrom des Spaltes S wird dann geeignet in eine elektrische Spannung umgewandelt, die registriert werden kann. Bei dem oben zuerst erwähnten Photometer muß jede einzelne E.K. als Blende sorgfältig ausgeschnitten werden. Die Blendenebene des zweiten Photometers wird durch mehrere nebeneinander liegende Metallstreifen abgeschattet, die verschiebbar sind. Dadurch kann jede gewünschte Form der Blende eingestellt werden.

Das 1950 von W. N. BROWN jr. und W. B. BIRTLEY beschriebene Photometer enthält einen "function transformer", dem die E.K. auf mechanische Weise eingegeben werden kann. Dieser ist aber recht kompliziert aufgebaut und seine große Zeitkonstante beschränkt die Registriergeschwindigkeit.

In einem von K. BAHNER und G. R. MICZAIKA (1953) angegebenen Photometer wird die E.K. durch die Kennlinie einer Elektronenröhre approximiert. Hier hat man einen völlig trägheitslosen Vorgang, aber eine genaue, punktweise Nachbildung der Schwärzungskurve ist nicht möglich.

Die Photometer von E. W. DENNISON (1956) sowie von J. B. OKE (1957) tasten die auf Koordinatenpapier gezeichnete E.K. elektromechanisch ab. Da beide Koordinatenachsen der aufgezeichneten E.K. für den Abtastvorgang mechanisch bewegt werden müssen, treten auch hier größere Zeitkonstanten auf.

Nach Fertigstellung des Gerätes wird uns noch ein Photometer von John G. Phillips (1959) bekannt, das Schwärzungen in Intensitäten in ähnlicher Weise wie das hier beschriebene neue Göttinger Photometer umwandelt: Der von der Registrierzelle kommende verstärkte Strom wird einem Kompensationsschreiber zugeführt. Der Ausschlag dieses Schreibers, der also der Transparenz proportional ist, wird auf die Drehachse eines Helipot-Potentiometers übertragen. Dieses Potentiometer ist an 15 Stellen angezapft. Durch Einschaltung geeigneter Querwiderstände kann der Potentialverlauf der Eichkurve angepaßt werden. Die so der Intensität proportional gemachte Spannung am Schleifer dieses Potentiometers wird einem zweiten Schreiber zugeführt.

Bei der Konstruktion des Göttinger Intensitätenphotometers gelang es, mit nur noch einem Servomechanismus auszukommen. Hierbei wird die Bildwirkung auf der photographischen Platte in üblicher Weise als Transparenz lichtelektrisch gemessen und mit einem Kompensationsschreiber registriert. Dabei wird aber das lineare Meßpotentiometer in Kompensographen durch einen nicht linearen Widerstand ersetzt. Die Potentialverteilung längs dieses Widerstandes wird durch eine Anzahl parallelgeschalteter Regelwiderstände der E.K. angepaßt.

Wenn wir uns zum Bau eines Photometers der unter b beschriebenen Art entschlossen, so waren dafür noch folgende Überlegungen entscheidend:

Ein direktes Vergleichsphotometer kann nur verwendet werden, wenn eine kontinuierliche Intensitätsskala vorhanden ist. Bei ihrer Herstellung läßt sich strenge Linearität in I oder $\log I$ nur schwer realisieren. Oft müssen noch kleine Korrekturen angebracht werden, die von der optischen Anordnung der Standardisierungsapparatur abhängen. Diese lassen sich beim direkt vergleichenden Photometer nur nachträglich in der Registrierkurve des Spektrums anbringen. Lokale Empfindlichkeitsschwankungen auf der Standardisierungsplatte können nicht eliminiert werden. Kratzer, Staub, variabler klarer Film usw. auf dieser lassen sich nicht korrigieren, sie gehen voll als Fehler in die Registrierkurve des Spektrums mit ein, außerdem vergrößern sich die Kornschwankungen um den Faktor $\sqrt{2}$ bei den Photometern der Gruppe a.

Demgegenüber weisen die Photometer der Gruppe b erhebliche Vorteile auf:

Jede Art einer Standardisierung (kontinuierliche St., stufenförmige St., berechnete St. usw.) kann verwendet werden. Außerdem ist es leicht, die Intensitätsskala bei der Anfertigung der E.K. zu transformieren und somit entweder I oder etwa $\log I$ zu registrieren. Die oben erwähnten Korrekturen wegen kleiner Abweichungen der Standardisierungsapparatur von der Linearität in I oder $\log I$ können bei der Zeichnung der E.K. berücksichtigt werden. Die Qualität der registrierten E.K. kann un-

mittelbar beurteilt werden und durch Mittelung über mehrere Aufnahmen der E.K. verbessert werden. Damit lassen sich auch lokale Empfindlichkeitsschwankungen der Standardisierungsplatte ausschalten.

2. Die optische Anordnung

Für den allgemeinen Aufbau des Gerätes diente, wie schon oft bei Konstruktionen von Mikrophotometern, das Zeißsche Registrierphotometer als Vorbild (Jena 1929) (H. KULENKAMPFF 1935). Vor allem wurde das Prinzip der zwei Spalte (Beleuchtungsspalt — Meßspalt) beibehalten. Ebenso wurde Wert darauf gelegt, das zu registrierende Plattenfeld und seine Umgebung auch während der Registrierung in einem Fenster beobachten zu können. Über die Konstruktion des Zeiß-Photometers hinausgehend wurde jedoch ein Vergleichslichtweg vorgesehen, um das Gerät von Betriebsspannungsschwankungen unabhängig zu machen. Weiterhin konnte wegen der Verwendung von Photomultipliern an Stelle einfacher Photozellen und der damit praktisch erheblich größeren Empfindlichkeit die Apertur des photometrierenden Lichtbündels kleingehalten werden. Damit entfallen viele Streulichtprobleme. Die Erfahrung hat gezeigt, daß bei normaler Raumbeleuchtung registriert werden kann. Außerdem bekommt das Gerät eine größere Tiefenschärfe, was sich bei nicht ganz eben liegenden Platten als Vorteil erweist.

Abbildung 1 zeigt den optischen Aufbau. Der Kondensor O_1 bildet den Lampenfaden der Photometerlampe (Wendellampe 6 V, 5 A) sowohl in die Aperturblende des Mikroskopobjektivs Mi_1 als auch nach Reflexion an der Glasplatte G_1 auf die Mattscheibe M_1 ab, die sich vor der Kathode des Vergleichsmultipliers Z_v befindet. M_1 sorgt für eine Zerstreuung des Lichtbündels, um eine homogene Beleuchtung der Kathode zu erreichen. In der Hauptebene von O_1 liegt der Beleuchtungsspalt B_1, der aus zwei Paaren geschliffener RG 1-Farbgläser besteht. Breite und Länge des Beleuchtungsspaltes können von der Vorderseite des Instrumentes aus eingestellt werden; und der Spalt selbst kann um die optische Achse gedreht werden.

Im Vergleichslichtweg nach der Strahlenteilung durch G_1 ist eine feste Blende B_2 sowie eine Farbfilterkombination (BG 3 + BG 18) angebracht. Dadurch wird das durch die Spaltbacken B_1 tretende rote Licht abgeblendet und ausgefiltert. Es ist somit erreicht, daß dasselbe Lichtbündel, das zur Messung der Plattenschwärzung benutzt wird, auch als Vergleichslichtquelle dient.

Das fokussierbare Mikroskopobjektiv Mi_1 bildet den Beleuchtungsspalt B_1 in die Plattenebene ab. Ein Kreuzschlitten, auf dem Mi_1 montiert ist, erlaubt eine genaue Zentrierung zu Mi_2. Die Linse O_5 bildet die Plattenebene auf die Mattscheibe M_2 an der Stirnseite des Gerätes ab.

Der Lichtweg zwischen Mi_2 und O_3 erfolgt im parallelen Strahlengang, damit durch die Brechung in der halbdurchlässigen Glasplatte G_2 keine Doppelbilder entstehen können. Das auf der Platte ausgeleuchtete Feld hat eine Größe von 2×3 mm bei Verwendung der normalen Objektive (Zeiß-Winkel-Achromat 6,3/0,16) und erscheint mit 33facher Vergrößerung auf M_2. Ein derartiger Abbildungsmaßstab erlaubt eine sichere Einstellung der Parallelität von Spalt und Spektrallinien. So überblickt man auch während der Registrierung die Umgebung des Spaltes. O_3 und O_4 bilden die Plattenebene auf dem Meßspalt B_3 ab. Dieser hat undurchlässige Spaltbacken. Er wurde als Präzisionsspalt ausgeführt. Die Spaltbreite läßt sich auf $\pm 1\,\mu$ reproduzierbar einstellen. Für die Spaltbreite als auch für die Spaltlänge sind Teilungen angebracht, die eine schnelle und sichere Einstellung erlauben. Außerdem kann der Spalt um die optische Achse gedreht werden, um ihn wie den Beleuchtungsspalt parallel zu schrägen Spektrallinien einstellen zu können. Um Beleuchtungs- und Meßspalt genau zur Dekkung bringen zu können

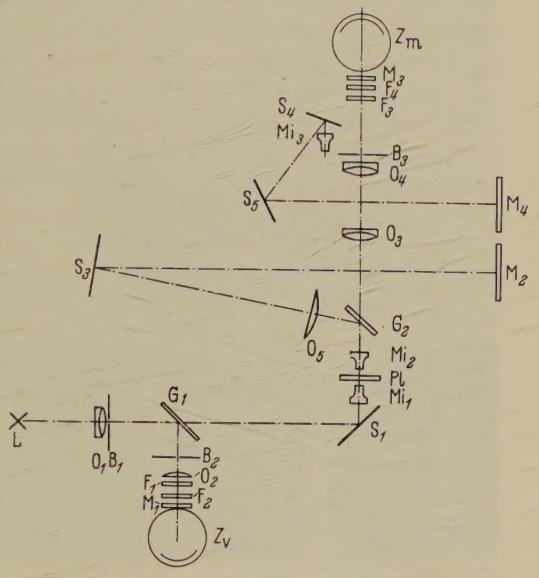

Abb. 1. Optischer Aufbau

und um eine genaue Fokussierung der Platte auf den Meßspalt zu ermöglichen, kann auf einem Schlitten ein Mikroskopobjektiv Mi_3 zusammen mit dem Spiegel S_4 in den Strahlengang gebracht werden, das B_3 über die beiden Spiegel S_4 und S_5 auf die Mattscheibe M_4 abbildet. Mi_3 kann parallel zu den Spaltbacken über B_3 bewegt werden, um bei langen Spalten alle Teile des Spaltes übersehen zu können. Die Linse O_4 schließlich bildet den Lampenfaden auf eine Mattscheibe M_3 ab, die sich vor der Kathode des Meßmultipliers Z_2 befindet. Die Filterkombination F_3(BG 3 + BG 18) sorgt dafür, daß das Licht im Meß- und Vergleichslichtweg dieselbe spektrale Zusammensetzung hat. Die Auswahl der Filter (BG 3 + BG 18) sowie des Filtermaterials für die Backen des Beleuchtungsspaltes (RG 1) erfolgte unter Berücksichtigung der spektralen Empfindlichkeit der verwendeten Multiplier und des menschlichen Auges.

3. Der mechanische Aufbau

Die Gesamtansicht des Instrumentes zeigt Abb. 2. Alle optischen Teile von der Photometerlampe bis zum Mikroskopobjektiv Mi_1 sind unter der Grundplatte angebracht. An der vorderen Kante der Grundplatte erkennt man die Bedienungsknöpfe für den Vorspalt. Der Aufsatz über dem Plattentisch enthält alle weiteren optischen Teile, beginnend mit dem Mikroskopobjektiv Mi_2; man sieht an der Stirnfläche die beiden

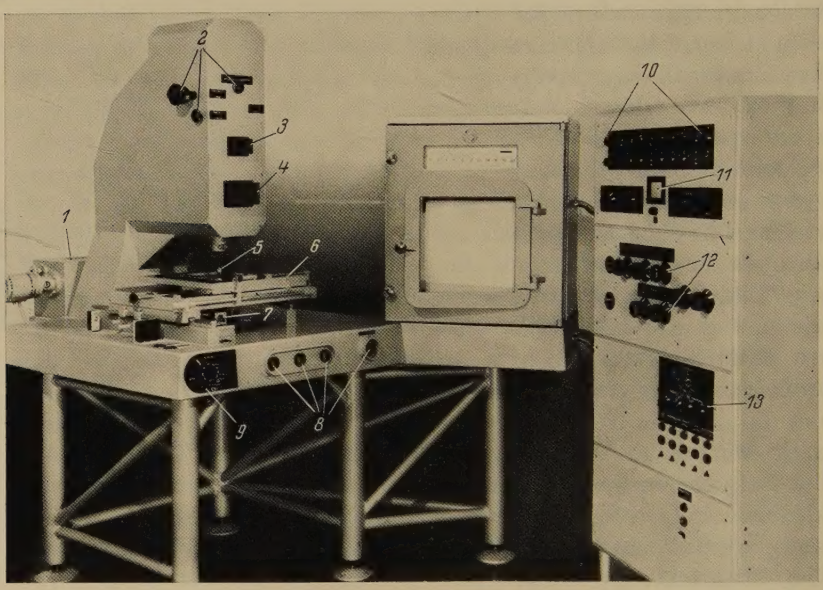

Abb. 2. Gesamtansicht des Photometers. *1* Getriebe; *2* Meßspalteinstellungen; *3* Mattscheibe M_4 für Abbildung des Meßspaltes; *4* Mattscheibe M_2 für Abbildung des Plattenfeldes; *5* Mikroskopobjektiv Mi_2; *6* Plattentisch; *7* Antriebsspindel; *8* Beleuchtungsspalteinstellungen; *9* Registriergeschwindigkeit; *10* Potentiometer P_1 bis P_{20} zur Einstellung der Eichkurve; *11* Projektionsskala des Widerstandes R_T; *12* Empfindlichkeit mit Aussteuerungsanzeige; *13* Nullpunkt und Zeitkonstante

Mattscheiben M_3 und M_4, die durch zwei Tuben vor Blendlicht von außen geschützt sind. Darüber sind die Bedienungselemente für den Meßspalt angeordnet. Bei der Konstruktion wurde großer Wert auf hohe mechanische Stabilität gelegt, um eine sichere Fokussierung der optischen Teile und eine große Konstanz und Genauigkeit der bewegten Teile zu gewährleisten. Die aus 12—15 mm starkem Stahlguß ausgeführte Grundplatte liegt auf einem aus Stahlrohr verschweißten Gestell. An die eigentliche Grundplatte ist eine zweite Gußplatte, die den Schreiber trägt, angeflanscht. Sie ruht ebenfalls auf dem beschriebenen Stahlrohrgestell. Der Aufsatz oberhalb des Plattentisches, der die meisten Teile der Optik enthält, wurde aus mehreren stark verrippten Aluminiumgußteilen zusammengesetzt.

Der Plattentisch ist eine Weiterentwicklung eines von H. Kienle entworfenen Plattentisches, der sich bei verschiedenen astronomischen Photometern bewährt hat, so z. B. am Göttinger Irisblendenphotometer von H. Haffner (1953). Der in Registrierrichtung bewegliche Wagen läuft auf Präzisionskugellagern auf geschliffenen T-Schienen. Der Registrierschlitten trägt einen weiteren, senkrecht zur Registrierrichtung beweglichen Wagen, der auf Kugeln in einer V-Schiene läuft. Die Plattenauflagefläche endlich kann mittels einer 3-Punkt-Auflage gekippt werden, um die Schicht der photographischen Platte parallel zur Bewegungsebene zu justieren. Außerdem ist eine Drehung der Platte um die optische Achse möglich. Eine Skala sowie eine Mikrometerschraube für die Bewegung senkrecht zur Registrierrichtung vervollständigen die Einrichtung. Es können Platten und Filme bis zum Format 24 × 24 cm eingelegt werden.

Der Antrieb des Plattentisches erfolgt durch eine Präzisionsspindel. Der Plattentisch kann zur Grobbewegung von Hand vom Spindelantrieb losgeklemmt werden. Die Spindelmutter ist zweiteilig ausgeführt, um jeden toten Gang auszuschalten. Die Beweglichkeit der Mutter auf der Spindel beträgt 20 cm. Die Spindel, die die Genauigkeit des Plattentransportes wesentlich bestimmt, wurde mit großer Sorgfalt nach einem von J. Strong (1951) angegebenen Verfahren hergestellt.

Plattenvorschub und Transport des Registrierpapiers sind mechanisch gekoppelt. Die beiden Drehzahlstufen des Antriebmotors erlauben eine Papiergeschwindigkeit von 8 bzw. 16 cm/min. Ein sechsstufiges Getriebe ermöglicht Übersetzungsverhältnisse vom Plattenvorschub zum Papiertransport von 1:20 bis 1:640.

Die Fehler des Übertragungsmechanismus vom Platten- zum Papiertransport wurden an mehreren Stellen der 20 cm langen Antriebsspindel zur Bewegung des Plattentisches bestimmt. Danach läßt sich eine Stelle auf dem Registrierstreifen einem entsprechenden Ort auf der Platte mit einem mittleren Fehler von $\pm 0{,}5\ \mu$ zuordnen. Diese Genauigkeit ist für ein Registrierphotometer völlig ausreichend. Wie schon erwähnt, konnte dies ohne Hebelübertragungen unter ausschließlicher Verwendung von Stirn- und Schneckenrädern erreicht werden. Die Fehler des Plattentransportes senkrecht zur Registrierrichtung und damit die Fokussierungsfehler konnten unter 0,01 mm gehalten werden.

4. Das Prinzip der elektrischen Anordnung

Abbildung 3 zeigt das Blockschaltbild des elektrischen Aufbaues. Der Meßlichtstrom fällt auf den Multiplier Z_m.

Am Widerstand R_m entsteht dann der Spannungsabfall U_m:

$$U_m \sim I_L \cdot T\,. \tag{1}$$

Dabei ist die Transparenz T definiert:

$$T = \frac{I}{I_L}$$

mit

I_L auffallendes Licht,

I durchgelassenes Licht.

Der Vergleichslichtstrom erzeugt am Widerstand R_v die Spannung

$$U_v \sim I_L . \tag{2}$$

Am Ausgang des Leistungsverstärkers V_v erscheint derselbe Spannungsabfall U_v am Meßwiderstand R_s des Schreibers. Nach Verstärkung in einem gleichartig ausgeführten Verstärker V_m wird die Meßspannung U_m über den Servomechanismus S des Schreibers an den Schleifer des Schreib-

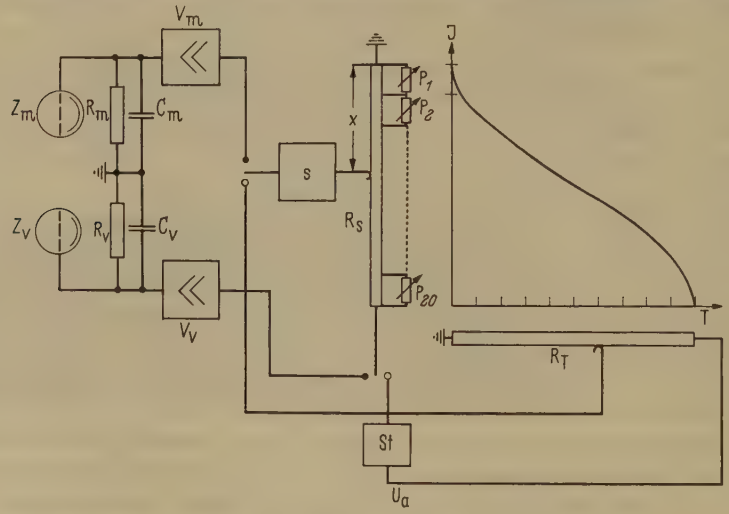

Abb. 3. Blockschaltbild des elektrischen Aufbaus

wagens gelegt. Der Servomechanismus sorgt dafür, daß der Schreibwagen an der Stelle des Widerstandes R_s zum Stillstand kommt, an der das Potential U_m herrscht.

Aus (1) und (2) folgt

$$T \sim \frac{U_m}{U_v} . \tag{3}$$

Es sei nun i der durch R_s fließende Strom, dann gilt im abgeglichenen Zustand:

$$xi \sim U_m \tag{4}$$

(x = Abstand des Schreibwagens vom Nullpunkt des Meßwiderstandes).

Weiter ist:

$$U_v = R_s i . \tag{5}$$

Aus (3) mit (4) und (5) folgt also:

$$x \sim T . \tag{6}$$

Die Intensität I_L der Lampe fällt also bei den Messungen heraus. Solange der Potentialverlauf längs des Widerstandes R_s linear ist, wird demnach die Transparenz der Photoplatte registriert.

Gelingt es nun, diesen Potentialverlauf so zu verformen, daß er der jeweiligen E.K. $S = f(I)$ entspricht, so registriert man direkt die Intensität I. Dabei ist es gleichgültig, welche Skala gewählt wird. In Göttingen werden meistens Eichkurven mit einem logarithmischen Keil aufgenommen, bei allen folgenden Betrachtungen soll aber immer nur von Intensität die Rede sein.

Die Darstellung des nichtlinearen Potentialverlaufes längs R_s wird durch 20 dem Widerstand R_s parallelgeschaltete Potentiometer P_1 bis P_{20} erreicht. Dabei ist der Widerstand R_s in 20 äquidistante Abschnitte mit entsprechenden Anzapfungen eingeteilt. Fließt ein Strom i durch R_s und P_1 bis P_{20}, dann ist am

$$\text{Punkt 0} \qquad U_0 = 0 ,$$

$$\text{Punkt 1} \qquad U_1 = i R_1 ,$$

wobei R_1 der aus dem festen Teilwiderstand $\frac{R_s}{20}$ und dem veränderlichen Potentiometerwiderstand R_p resultierende Gesamtwiderstand ist:

$$R_1 = \frac{\frac{R_s}{20} R_p}{R_p + \frac{R_s}{20}} .$$

Also ist am Punkt k des Widerstandes R_s

$$U_k = i \left\{ \left(\sum_{l=1}^{k-1} R_l \right) + R_k \right\} .$$

Da die E.K. $T = f(I)$ in dem Bereich, der für die Photometrie in Betracht kommt, immer monoton ist, kann man also jedem Punkt I_k ein Potential U_k zuordnen, das der jeweiligen Bildwirkung S_k entspricht. Man hat damit die E.K. durch 20 gerade Teilstücke approximiert.

Ist die Schwärzungskurve aus der Registrierung der Standardisierungsspektren mit linearem Meßwiderstand R_s bekannt, so bestimmt man für 20 äquidistante Punkte der Intensitätenachse $I_1 \ldots I_{20}$ die zugehörigen Transparenzwerte $T_1 \ldots T_{20}$. Die Punkte $I_1 \ldots I_{20}$ sind identisch mit den 20 Anzapfungen des Meßwiderstandes R_s, d. h. mit den 20 Teilstrichen der Schreiberskala. Die Potentiale $U_1 \ldots U_{20}$ am Meßwiderstand müssen nun mit Hilfe der Potentiometer $P_1 \ldots P_{20}$ so eingestellt werden, daß sie den Transparenzwerten $T_1 \ldots T_{20}$ entsprechen.

Die Spannung $U_0 = 0$ soll dabei mit der Transparenz $T = 0$ (totale Schwärzung) übereinstimmen. Die Spannungen $U_1 \ldots U_{20}$ werden an R_T (s. Abb. 3) der Reihe nach eingestellt. Der Schleifer von R_T ist dabei über den Servomechanismus S mit dem Schleifer des Wagens, der die Schreibfeder trägt, verbunden.

Durch Verändern des Potentiometers P_k ($k = 1 \ldots 20$) wird nun der Wagen an der zugehörigen Stelle I_k der Schreiberskala zum Stillstand gebracht. Dabei muß man beim Punkt 1 beginnen (Punkt $0 \mathrel{\hat{=}} T = 0$), da das jeweilige Potential U_k natürlich auch von der Einstellung der vorangehenden $k - 1$ Potentiometer abhängt. Voraussetzung ist die Konstanz des Stromes i bei der Veränderung der Potentiometer.

Dieses System der Einstellung der E.K. hat sich in der Praxis gut bewährt, da es schnell und sicher ist. Da die E.K. durch 20 Geradenstücke approximiert wird, tritt ein kleiner Fehler auf. Die Abweichung der Intensitätenregistrierung von der wahren Intensität wird am größten in den durchgebogenen Teilen der E. K. sein. Stark durchgebogene und besonders steile Schwärzungskurven in Gebieten der Unter- und Überbelichtung werden aber zweckmäßigerweise nicht zur Präzisionsphotometrie verwendet. Selbst bei einer Gradiation $\gamma = 1{,}5$ in mittleren Schwärzungsbereichen erhält man als maximale Abweichung der registrierten Intensitätswerte 0,5% vom Vollausschlag des Instrumentes.

Im einzelnen wurden die Teile des Blockschaltschemas (Abb. 3) folgendermaßen ausgeführt:

1. Als Strahlungsempfänger werden zwei Multiplier vom Typ 931 A verwendet. Die Spannungsversorgung der Zellen geschieht aus einem geregelten Hochspannungsnetzgerät.

2. Der Verstärker: Wegen der guten Erfahrungen bezüglich Konstanz und Linearität, die in Göttingen mit dem bei K. H. David (1958) beschriebenen Verstärker gemacht wurden, konnte dieser Verstärker auch hier verwendet werden. Es seien nur folgende Abänderungen beschrieben: Der Eingangswiderstand beider Zweige beträgt 1 MΩ und ist konstant. Die Zeitkonstante kann durch gemeinsam schaltbare Kapazitäten in beiden Zweigen von 0,1 sec bis 2,0 sec verändert werden. Der Heizstrom der Eingangsröhren, von dessen Konstanz der Nullpunkt des Verstärkers wesentlich abhängt, wird nicht mehr durch einen Pufferakku stabilisiert, sondern über eine geeignete elektronische Schaltung. Ein Netzgerät liefert die stabilisierte Anoden- und Heizspannung für den Verstärker. Die Nullpunkteinstellung wird nicht mehr mit einem Galvanometer vorgenommen, sondern es wird jetzt der Servomechanismus des Schreibers, der in seiner Wirkungsweise ein hochempfindliches Galvanometer darstellt, dazu benutzt.

3. Der Meßwiderstand R_s im Kompensationsschreiber wurde durch einen neuen Widerstand ersetzt. Auf einen Keramikkörper wurden

1000 Windungen eine 0,25 mm starken Widerstandsdrahtes aufgewickelt, wobei alle 50 Windungen die kontinuierliche Wicklung unterbrochen und eine Anzapfung herausgeführt wurde. Die Genauigkeit der Lage der Anzapfstellen beträgt ± 1 Windung.

4. Als Parallelpotentiometer P_1 bis P_{20} werden 20 Potentiometer 50 Ω (Type Rosenthal P 10) verwendet. Entscheidend ist hierbei die Qualität der Potentiometerkontakte. Um zur Ermittlung der E.K. mit linearem Widerstand R_s registrieren zu können, werden alle 20 Potentiometer mit 20 auf einer Achse befindlichen Schaltern abgeschaltet.

5. Der ursprünglich im Schreiber angebrachte Präzisionswiderstand ohne Anzapfungen wird als Potentiometer R_T zur Abnahme der benötigten Bezugsspannungen bei der Einstellung der E.K. benutzt. Die Ablesung erfolgt durch eine Skalenprojektion.

6. Die gesamte Stromversorgung des Gerätes erfolgt aus einem stabilisierten Netzgerät.

B. Die Registrierung des ultravioletten Sonnenspektrums

Mit dem hier beschriebenen Photometer wurde ein Atlas des nahen ultravioletten Sonnenspektrums angefertigt, der als Sonderband 5 der Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften in Göttingen, Math.-Phys. Klasse, erschienen ist. Dieser Atlas stellt aus folgenden Gründen eine Ergänzung und Verbesserung des Anhangs zum Utrechter Atlas des Sonnenspektrums (1940) dar:

a) Sein Auflösungsvermögen entspricht dem des Hauptteils des Utrechter Atlas und ist damit wesentlich höher als beim Utrechter ultravioletten Anhang.

Für die Aufnahmen wurde der Konkavgitterspektrograph des Göttinger Sonnenturms in der II. Ordnung verwendet. Bei einer Lineardispersion von 1,25 Å/mm wurde die Halbwertsbreite des Apparateprofils bei 3000 Å zu 33 mÅ bestimmt. Das entspricht einem Auflösungsvermögen, das nur 6,5% kleiner ist als der theoretische Wert.

b) Der Wellenlängenbereich konnte nach kürzeren Wellenlängen hin bis zu 2988 Å ausgedehnt werden.

c) Dieser Atlas enthält Registrierkurven sowohl des Spektrums vom Zentrum der Sonnenscheibe ($\sin \Theta = 0{,}00$) (2988—3629 Å) als auch des Sonnenrandes bei $\sin \Theta = 0{,}98$ (3021—3629 Å), während im Anhang des Utrechter Atlas Registrierkurven des Spektrums des integrierten Sonnenlichts enthalten sind.

Abbildung 4 zeigt als Beispiel die Verkleinerung einer Seite dieses Atlas. Die Originalgröße der Registriertafeln im Atlas beträgt etwa 50×35 cm.

Mit dem Utrechter Atlas (3612—8771 Å) von M. Minnaert, G. F. W. Mulders und J. Houtgast (1940), dem Atlas des nahen infraroten

Sonnenspektrums (8465—25242 Å) von O. C. MOHLER, A. K. PIERCE, R. R. MCMATH und L. GOLDBERG (1950) und dem Atlas des fernen infraroten Sonnenspektrums (2,8—23,7 μ) von M. MIGEOTTE, L. NEVEN und J. SWENSSON (1956) liegt jetzt eine lückenlose photometrische Bestandsaufnahme der vom Erdboden aus erreichbaren Sonnenstrahlung im optischen Bereich vor. Das Gebiet $\lambda = 3100$ Å bis $\lambda = 3650$ Å (Sonnenmitte) wurde außerdem noch von H. A. BRÜCK, M. T. BRÜCK und G. J. THOMPSON am Dunsink Observatory aufgenommen und mit einem Intensitäten-

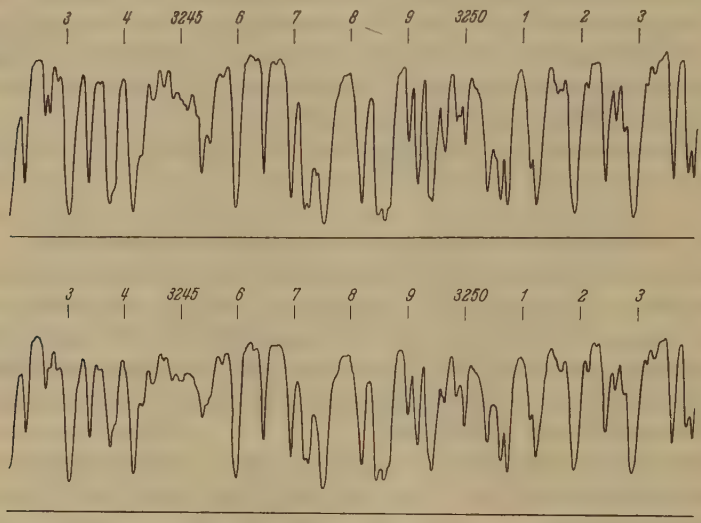

Abb. 4. Beispiel einer Seite des Atlas. Registrierkurve des Sonnenmittespektrums (oben) und Registrierkurve des Randspektrums (unten)

photometer, ähnlich dem zur Registrierung des Utrechter Atlas verwendeten, registriert. Diese unveröffentlichten Registrierungen bilden die Grundlage für die Äquivalentbreitenbestimmungen des "Preliminary Photometric Catalogue of Fraunhofer Lines" (Recherches Astronomiques de l'Observatoire d'Utrecht XV) in diesem Gebiet.

Herrn Professor TEN BRUGGENCATE danke ich aufrichtig für die Anregung zu dieser Arbeit sowie für sein stets förderndes Interesse daran.

Herr Dr. A. BEHR und Herr Dr. G. ELSTE halfen mit wertvollen Ratschlägen beim Bau des Photometers, Herr Dr. G. ELSTE auch bei den Aufnahmen zum Atlas des ultravioletten Sonnenspektrums.

Herr Mechanikermeister DUENSING konstruierte die mechanischen Einzelteile des Photometers und sorgte für deren präzise Ausführung in der Werkstatt des Instituts.

Die Research Corporation, New York, förderte den Bau des Photometers durch eine Beihilfe.

Ihnen allen danke ich vielmals für ihren Beitrag zum Gelingen dieser Arbeit.

Literatur

v. Alvensleben, A.: Apparatekonturen, Gittergeister und Streulicht der beiden neuen Plangitter am Göttinger Sonnenturm. Z. Astrophysik **43**, 63 (1957).

Bahner, K., u. G. R. Miczaika: Ein Gerät zur Entzerrung von Eichkurven lichtelektrischer Plattenphotometer. Z. Astrophysik **32**, 64 (1953).

Behr, A.: Eine differentielle Methode der lichtelektrischen Polarisationsmessung des Sternlichts. Veröff. Univ.-Sternwarte Göttingen, Nr. 114 (1956); Nachr. Akad. Wiss. Gött., Math.-Phys. Kl. IIa, **1956**, Nr. 10.

Billings, D. E., R. H. Cooper, J. W. Evans and R. H. Lee: Microphotometer Scans Spectrum Photographs. Electronics (1954).

Brown, W. W., and W. B. Birtly: A Densitometer which Records Directly in Units of Emulsion Exposure. Rev. Sci. Instruments **22**, 67 (1950).

Bruggencate, P. ten, u. F. W. Jäger: Das Turmteleskop der Göttinger Sternwarte. Veröff. Univ.-Sternwarte Göttingen, Nr. 101 (1951); Nachr. Akad. Wiss. Gött., Math.-Phys. Kl. IIa, **1951**.

Bruggencate, P. ten, u. H. H. Voigt: Das Turmteleskop der Göttinger Sternwarte, II. Veröff. Univ.-Sternwarte Göttingen, Nr. 122 (1958); Nachr. Akad. Wiss. Gött., Math.-Phys. Kl. IIa, **1958**.

David, K. H.: Zwei Methoden der lichtelektrischen Registrierung des Sonnenspektrums mit Kompensation der Extinktions- und Szintillationsschwankungen. Veröff. Univ.-Sternwarte Göttingen, Nr. 120 (1958); Z. Astrophysik **45**, 192 (1958).

Elste, G.: Die Entzerrung von Spektrallinien unter Verwendung von Voigtfunktionen. Veröff. Univ.-Sternwarte Göttingen, Nr. 107. Z. Astrophysik **33**, 39 (1953).

Haffner, H.: Das neue Irisphotometer der Göttinger Sternwarte. Veröff. Univ.-Sternwarte Göttingen, Nr. 106; Nachr. Akad. Wiss. Göttingen, Math.-Phys. Kl. IIa, **1953**, Nr. 4.

John, Ch. E. St. u. a.: Revision of Rowland's Preliminary Table of Solar Spectrum Wave-Lengths. Washington 1928.

Kienle, H.: Registrierphotometer. Handbuch der Experimentalphysik, Bd. 26, S. 728. Leipzig 1937.

Kienle, H.: Grundsätzliches zum Bau von Mikro-Photometern. Mitt. AG **1950**, 15.

Kulenkampff, H.: Ein einfaches registrierendes Mikrophotometer. Physik. Z. **36**, 56 (1935).

Migeotte, M., L. Neven and J. Swensson: The Solar Spectrum from 2,8 to 23,7 Microns. Mem. soc. roy. sci. Liège. Spec. Vol. No. 1, **1956**.

Minnaert, M., and J. Houtgast: Direct Registration of Intensities in Spectrophotometric Work. Z. Astrophysik **15**, 354 (1938).

Minnaert, M., G. F. W. Mulders and J. Houtgast: Photometric Atlas of the Solar Spectrum. Utrecht 1940.

Mohler, O. C., A. Pierce, R. R. McMath and L. Goldberg: Photometric Atlas of the Near Infra-Red Solar Spectrum. Ann. Arbor, 1950.

Oke, J. B.: New Direct-Intensity Recording Microphotometer. J. Roy. Astron. Soc. Can. **51**, 133 (1957).

Phillips, J. G.: Simple Self-Recording Intensitometer Attachment for Microphotometers. J. Opt. Soc. Am. **49**, 972 (1959).

Richter, J.: Ein Zusatz zur direkten Registrierung von Intensitätskurven mit dem Mikrophotometer. Z. Astrophysik **48**, 159 (1959).

Smith, H. J., and Elske v. P. Smith: Chromospheric Spectra Outside Eclipse, Sacramento Peak Observatory. Solar Research Memorandum 25 Sept. 1956.

Strong, J.: New John Hopkins Ruling Engine, J. Opt. Soc. Am. **41**, 3 (1951).

Williams, R. C.: A self Recording Direct-Intensity Microphotometer. Publications of the University of Michigan **8**, 3, 45 (1943).

Firma Zeiß: Gebrauchsanweisung für das lichtelektrische Registrierphotometer Fabr. Nr. 33060 der Firma Carl Zeiß, Jena. Jena 1929.

G. Brückner, Universitäts-Sternwarte, Göttingen, Geismarlandstr. 11

Druck: Brühlsche Universitätsdruckerei Gießen

Lebenslauf

Ich wurde am 26. Dezember 1934 als erstes Kind des Diplomingenieurs Herbert Brückner und seiner Ehefrau Erna Brückner geborene Krumbiegel in Dresden geboren.

Von 1941 — 1949 besuchte ich die Volksschule in Pößneck in Thüringen, daran anschließend die dortige Oberschule bis Ende 1952. Von Januar 1953 bis November desselben Jahres war ich Schüler des Couven-Gymnasiums in Aachen. Im Dezember 1953 wurde ich Schüler des Gymnasiums in Geislingen / Steige, wo ich am 22. Februar 1954 meine Reifeprüfung ablegte.

Im Sommersemester 1954 begann ich mein Studium an der Georg August-Universität in Göttingen. Ich war zunächst für das Hauptfach Physik eingeschrieben und legte darin am 2. November 1956 das Diplomvorexamen ab.

Im Wintersemester 1957 / 58 begann ich an der Universitätssternwarte meine Dissertation.

Meine akademischen Lehrer waren die Herren Professoren Dr. ten Bruggencate, Dr. Flammersfeld, Dr. Hund, Dr. Leibfried, Dr. Lüders, Dr. Meyer, Dr. Stumpff sowie die Herren Privatdozenten Dr. Behr und Dr. Elsässer.

Günter Brückner